





# DYNAMIC SPACE EQUALIZER BASED ON SPATIAL LIGHT MODULATOR AS BASE

**Patent number:** JP2002214591  
**Publication date:** 2002-07-31  
**Inventor:** BAYART DOMINIQUE; DE BOUGRENET DE LA TOCNAYE JEAN-LOUIS; CHEVALLIER RAYMOND; DUPONT LAURENT  
**Applicant:** ALCATEL  
**Classification:**  
- **International:** G02F1/1334; G02F1/061; G02F1/13  
- **European:**  
**Application number:** JP20010351134 20011116  
**Priority number(s):**

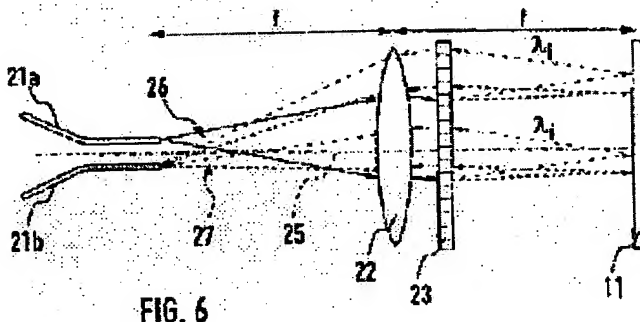
**Also published as:**

 EP1207418 (A1)  
 US6667824 (B2)  
 US2002080466 (A1)  
 JP2002214591 (A)

**Abstract of JP2002214591**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a space light modulator SLM which consists of a cell filled with a liquid crystal LC based substance.

**SOLUTION:** The liquid crystal LC based substance has the diffusion characteristics varying with an electric field of the cell, and can build inside the cell the electric field capable of modulating a continuous spectrum from optical signals in the cell by using two or more electrodes in direct vicinity of the cell. The pass band wavelengths of the continuous spectrum are respectively different and the transmission through the cell of the different regions is required. The different regions correspond to the values of the diffusion amplitude so as to modulate the pass band of the different wavelengths. An SLM 11 is used to build a dynamic spectrum equalizer. The dynamic spectrum equalizer contains a spectrum dispersive element 23 placed on an optical path of the incident light beam. The spectrum dispersive element continuously spreads the incident light beam onto the SLM so that respectively different wavelengths of the incident light beam are converged or projected toward different spatial regions of the SLM.



Data supplied from the esp@cenet database - Patent Abstracts of Japan

〔外国語明細書〕

## 1. Title of Invention

Dynamic spatial equalizer based on a spatial light modulator

## 2. Claims

1. Spatial light modulator comprising a planar cell filled with a liquid crystal based substance having a variable scattering property with respect to an electric field, and at least two electrodes enclosing said planar cell from each side of its plane to apply a voltage on said liquid crystal,  
characterized in that  
said applied voltage is non-uniform in space implying an electric field inside said cell with a variable spatial distribution along said plane adapted for the modulation of at least a pass band comprising at least a wavelength at which an optical signal is transmitted through said cell, while said modulation taking the form of a variable attenuation.
2. Spatial light modulator according to claim 1, characterized in that said variable spatial distribution is adapted for the modulation of at least two different pass bands comprising each at least a respective wavelength at which optical signals are transmitted through said cell respectively at two different regions along said plane.
3. Spatial light modulator according to claim 1, characterized in that at least on one side of said plane said electrode is divided into a plurality of adjacent electrodes giving rise to said variable spatial distribution adapted to modulate a continuous spectrum containing a number of different pass bands, while at least few of them comprise at least a respective wavelength at which optical signals are transmitted through said cell at a different region along said plane for each of these respective different wavelengths.

4. Spatial light modulator according to claim 3, characterized in that said plurality of adjacent electrodes are controlled independently with a variable voltage allowing to adapt said spatial light modulator to a change of optical properties of said incident light beam.
5. Spatial light modulator according to claim 2 to 4, characterized in that said modulation acts as a variable attenuator by flattening or equalizing said pass band comprising at least said respective wavelength.
6. Spatial light modulator according to claim 1, characterized in that said electrode being at the rear of said cell with respect to incident optical signals comprises a reflective plane for said incident optical signals.
7. Spatial light modulator according to claim 1, characterized in that said liquid crystal based substance filling said cell is made of a suspension of liquid crystal droplets generally nematic but possibly chiral, in a host medium generally polymer.
8. Spatial light modulator according to claim 2 and 7, characterized in that said droplets are of an average size comparable or smaller than said wavelength at which an optical signal is transmitted through said cell such that said droplets act as scatters when their liquid crystal director axes are not aligned with the propagation axes of said wavelength.
9. Dynamic spectral equalizer comprising an optical input for an incident light beam consisting of optical signals transmitted via at least a wavelength, an optical output for collecting a resulting light beam, characterized in that said dynamic spectral equalizer comprises further a spatial light modulator according to claim 1 on which said incident light beam is focused or imaged and out of which said resulting light beam is collected.
10. Dynamic spectral equalizer according to claim 9, characterized in that it comprises further a spectral dispersive element on an optical path of said incident light beam such that said spectral dispersive element spread continuously said incident light beam onto said spatial light modulator such that at least each different wavelength present in said incident light beam are focused or imaged towards a different spatial region of said spatial light modulator.
11. Dynamic spectral equalizer according to claim 10, characterized in that the direction of propagation of each different wavelength when reaching said spatial light modulator are almost perpendicular to it such that latter is almost polarization independent.

12. Dynamic spectral equalizer according to claim 11, characterized in that the focus or image of each different wavelength when reaching said spatial light modulator is adapted to give rise of a spot size of at least several times bigger than the average size of the liquid crystal droplets according to claim 8 such that said spatial light modulator is almost polarization independent.
13. Dynamic spectral equalizer according to claim 9, characterized in that said spatial light modulator is used in reflection mode such that said incident light beam will be transmitted through said cell twice before being collected as said resulting light beam.
14. Dynamic spectral equalizer according to claim 9, characterized in that said optical input and output are given by at least an optical fiber.
15. Telecommunications device  
characterized by  
incorporating a dynamic spectral equalizer according to claim 9.

### 3. Detailed Description of Invention

The present invention relates to a spatial light modulator as set forth in the preamble of claim 1, a dynamic spectral equalizer as set forth in the preamble of claim 9 and a telecommunications device.

Optical communication systems employing optical fibers have been rapidly put into practice because of the large capacity of information which can be transmitted through it at a very high speed. Specially for inter-continental transmission, optical fibers were used in building undersea networks already few decades ago. But the ever growing popularity of telecommunications e.g. on the Internet and a price dumping for telecommunications due to a liberalization of this economical sector end up of a need to increase substantially the telecommunications transmission possibilities without implying to high cost. The use of a technique called wavelength division multiplexing (WDM) shall be very promising since it permits to transmit in already lay down optical fibers, optical signals at multiple different wavelengths (more than 50 in a same optical fiber). As before, it is necessary to use from time to time (e.g. every 100km depending on several parameters) amplifiers like transponders for those optical signals. Many amplifiers will have to be used now for a high number of different wavelengths. These amplifiers are then concatenated which harden the condition of an acceptable spectral bandwidth.

To verify such condition, a spectral equalization must be performed on the different transmitted wavelengths. When only few different wavelengths are used a passive spectral equalization may be sufficient. In US6.084.695 is disclosed an example of passive spectral equalization based on the use of a filter like a Fabry-Perot filter, little selective (or Fizeau filter). Such filter is used in combination of a multiplexer while different wavelengths are transmitted through different input fibers. Each of these input fibers have then their ends located on an end plane. The multiplexer comprises a dispersing element or grating, a collimating optical element, a reflector system and produces an output beam collected by an output fiber. The reflector system is an adjustment element whose orientation enables the centering of the luminous beams with respect to the wavelengths considered on the elementary pass bands. The spectral equalization is performed here in order to bring each of these pass bands having a maximum closer to a rectangular shape. The filter is additionally placed to act on each of them such that the period of its transmission spectrum is equal to that of the central wavelengths of the elementary bands of the multiplexer. This filter can be accommodated in a superimposition region of the different wavelengths and will act on each of them in a same way.

However, as wavelength division multiplexed optical transmission systems begin to be deployed commercially, the need for active management of spectral gain is increasingly important. Indeed, individual channel powers comprising at least a respective different wavelength may vary over time. Furthermore, the gain spectrum varies with dynamical load. In WO98/06192 is disclosed a technique for active management of the spectral gain, based on a polarization-insensitive diffractive ferroelectric liquid crystal (FLC) in-line filter. It is made of a reconfigurable holographic filter arranged along an optical path between the optical inputs and the optical outputs. The equalization is based here on a spatial deflection such that the hologram will reshape the propagated beam correspondingly. The holographic filter comprises a FLC pixellated spatial light modulator (SLM) displaying dynamic holograms in conjunction with a fixed binary-phase high spatial frequency grating. The reconfiguration of the holographic filter is achieved in combination with processing means storing data on a number

of predetermined holograms. Latter provide signal power equalization for a number of optical signals of predetermined different wavelengths. The active management disclosed in WO98/06192 is limited to these predetermined holograms defined for predetermined wavelengths. It cannot be successfully applied when a shift or a change of few or all of the wavelengths occurs. But this is just what becomes increasingly important with the actual high number of different wavelengths used simultaneously for the transmission of optical signals under WDM.

It is an object of the present invention to provide a dynamic spectral equalizer with a high dispersive capacity and applicable for optical signals made of a variable number of different wavelengths while being almost polarization and temperature independent.

This object is attained by a spatial light modulator as claimed in claim 1, a dynamic spatial equalizer and a telecommunications device as claimed respectively in claim 9 and 15.

It is taken advantage of the use of a spatial light modulator (SLM) made of a cell filled with a liquid crystal (LC) based substance having a variable scattering property with respect to the amplitude of an electric field present in that cell. In a paper from K. Takizawa et al., Applied Optics, Vol. 37, pp 3181-3189, 1998, is disclosed a polarization independent optical fiber modulator made of polymer-dispersed liquid crystals (PDLC). This PDLC materials has LC droplets of several micrometers or less in diameter dispersed within the polymer. By controlling the difference between the refractive indices of the LC droplets and the surrounding polymer, the state of the PDLC can be varied continuously from opaque to transparent. When no electric field is applied to this modulator, the LC molecules face different directions for each droplet. An optical beam that is transmitted through said modulator, will be strongly scattered. This reduces substantially the power of light that propagates, causing the modulator to be in an off state. Applying an adequately large electric field to the PDLC causes the LC molecules to be arranged in the direction of the electric field. Then, both the polymer and the LC droplets show nearly the same refractive index. In this

case, the optical beam that propagates through said modulator is straight without scatter. Since such modulator is based on the light-scattering effect of the PDLC, it can be used to modulate an optical beam without depending on polarization.

In the present invention it is now a non uniform electric field which is applied on a cell filled with a similar LC based substance. In such a way, it is then take advantage of the variable scattering property (loss) of said substance to build a variable attenuator. Latter will then be adapted for a shaping of the transmission loss of a pass band comprising at least a wavelength at which an optical signal is transmitted through said cell e.g. by flattening or equalizing said pass band. By using a plurality of electrodes in the direct vicinity of said cell, it is then possible to build an electric field inside it which will permit advantageously to modulate a continuous spectrum from optical signals transmitted through said cell. For that, the different pass bands present in said continuous spectrum while at least few of them comprise at least a respective different wavelength will have to be transmitted through said cell at different regions. Latter will correspond to different values of the amplitude of scattering such to be adapted to modulate the pass bands of different wavelengths.

Such SLM is favorably used to build a dynamic spectral equalizer according to the present invention. Latter contains a spectral dispersive element placed on an optical path of an incident light beam. This spectral dispersive element will advantageously spread continuously said incident light beam onto said SLM such that at least each different wavelength present in said incident light beam are focused or imaged towards a different spatial region of said SLM. Since the plurality of electrodes with which an electric field is applied to the cell of said SLM can be controlled independently, it will be possible to adapt in real time the modulation of the continuous spectrum to a shift or even a drop of some or addition of few new wavelengths present in the light beam.

Further advantageous features of the present invention are defined in the dependent claims and will become apparent from the following description and the drawing.

One embodiment of the invention will now be explained in more detail with reference to the accompanying drawing.

A spatial light modulator (SLM) according to the present invention is made up of a cell filled with a liquid crystal (LC) based substance. Latter has a variable scattering property with respect to an electric field present in the cell. As shown in figures 1, 2 and 4, said LC based substance consists of LC droplets 3, 3a, 3b (generally nematic, but possibly chiral) in a host medium 4 (generally a polymer) confined in said cell 1 made advantageously pla-



nar. In the direct vicinity are placed electrodes 2. Latter are used to applied a non-uniform voltage which gives rise to said electric field inside the cell 1.

The LC director axes within a droplet are determined by the polymer-LC interaction at the droplet boundary. For positive dielectric anisotropy, then the LC director axes vary nearly randomly from droplet to droplet 3a in absence of any applied electric field as shown in fig. 1a (off-field state). The index mismatch (discontinuity) between LC-droplets 3a and the host medium 4 results in scattering of an incident light 6. When the cell thickness (e.g.  $10\mu\text{m}$ ) is much larger than the droplet size ( $0.5 - 1\mu\text{m}$ ), then the incident light 6 will be scattered many times before emerging 7a from the cell 1. The degree of scattering depends on the size, birefringence (e.g. 0.1 or less) and concentration of the droplets. By controlling the difference between refractive indices of the LC-droplets and the surrounding polymer (host medium 4) with respect of an applied voltage (see fig. 1b), the polymer-dispersed LC (PDLC) state can be varied continuously from opaque to transparent. In latter case, the incident light 6 is transmitted 7b without suffering any scattering. It is therefore possible to modulate light without using polarisers, by selecting non-scattering rays 7b from the light that passes through said cell.

On fig. 2a and 2b are shown a similar cell 1 of a spatial light modulator as before but now using a nematic LC with a negative dielectric anisotropy, while the whole is in an homoetropic configuration. In this case, the LC-droplets 3b director axes are aligned parallel to the propagation axe of the light beam in the off-state i.e. in the absence of an electric field (s. fig. 2b). Any applied voltage will make the cell 1 more or less opaque (s. fig. 2a).

When choosing specific electrodes 2, such that the applied voltage is non-uniform in space, the electric field inside said cell 1 will have a variable spatial distribution along its plane. This is then adapted to modulate at least a pass band comprising at least a wavelength at which an optical signal is transmitted through said cell 1. The modulation will preferably chosen such that the cell acts as a variable attenuator by flattening or equalizing said pass band.

As a principal aim of the present invention is to modulate in a single step a high number of different pass bands comprising each at least a different respective wavelength at which optical signals are transmitted (WDM-technique) using a single SLM, at least one electrode 2 is then divided into a plurality of parallel electrodes 2a, 2b as shown in a front view on fig.3. If each of these electrodes 2a, 2b are controlled separately, it is then possible to apply on the PDLC a variable spatial distribution adapted to modulate a continuous spectrum. Latter may contain a high number of different pass bands, while at least few of them comprise at least a respective wavelength at which optical signals are transmitted through said cell 1. It is important that each pass band comprising a different wavelength which will be modulated are to be transmitted through the cell 1 at a different corresponding region along the plane.

On fig. 4 is visualized an example of an electric field distribution inside the cell 1. Ox is the modulation and dispersion axis i.e: the plurality of electrodes 2a, 2b are parallel to oy. And oz is the propagation axis of the light beam transmitted through such cell 1. As shown here on fig. 4, such distribution of the electric field will be adapted to modulate a continuous spectrum made of a number of different pass bands.

It is essential in the context of the present invention to ensure that the different wavelengths present in the incident light beam will be spread onto different regions of said SLM. For that, a dynamic spectral equalizer using such kind of SLM will further comprise a spectral dispersive element placed on an optical path of the incident light. This dispersive element in free-space can be a prism, a volume hologram, a grating or a combination of them. They provide an angular dispersion which is converted into a spatial multiplex (lateral shift as a function of the wavelength  $\lambda$ ). It is of advantage also to ensure that the direction of propagation of each different wavelength when reaching said SLM are almost perpendicular to it. In that way, the used SLM will be almost polarization independent. Furthermore, it is preferable that the focus or image of each different wavelength on said SLM is adapted to give rise to a spot size of at least several times bigger than the average size of the LC droplets filling its cell 1. All these conditions will permit to optimize the modulation of the incident light beam (shaping

permit to optimize the modulation of the incident light beam (shaping of the transmission loss).

To optimize the size and not least the cost of such dynamic spectral equalizer, a planar reflecting SLM will be used. On fig. 5 is shown a cross sectional view of an embodiment of such planar reflecting SLM 11. It is made of two planar glass substrates 10 which are placed parallel side-to-side. Between them are two electrodes 2, 8 while in between is confined the PDLC 9. When using such planar reflecting SLM 11, an incident light beam 6 will first come through the first electrode 2 which is transparent. Latter can be made advantageously of Indium Tin Oxide (ITO). Afterwards, the incident light beam 6 will be modulated by the PDLC 9 before being reflected by the second electrode 8 made of a mirror again through the PDLC 9. The light beam reflected by said planar reflecting SLM 11 will therefore be transmitted twice through the PDLC 9.

The use of a reflecting SLM 11 according to the present invention has the big advantage to economize the number of optical elements needed for a dynamic spectral equalizer and permits therefore to optimize its compactness. On fig. 6 to 8 are shown different possible embodiments of such dynamic spectral equalizer. All of them comprise a grating 23, 24 as well as a similar reflecting SLM 11 but placed at a different region along an optical axis 25 of the incident light beam. The grating 23 is made of a demultiplexer (WDM dmux) which will act as a multiplexer on the reflected light beam. For efficiency a thick grating or volume hologram may be preferable. In addition, the Bragg selectivity of the such grating can be used to block parasitic PDLC back-scattering.

Fig. 6 represents a dynamic spectral equalizer in the Fourier configuration. A diverging incident light beam 26 is coming out of an input fiber 21a and reaches a lens 22 placed on an optical axis 25 parallel to the propagation direction of said light beam 26. Afterwards, it is transmitted through a grating 23 here a WDM dmux before reaching said SLM 11. Due to the lens 22 and the grating 23 two different wavelengths  $\lambda_1$  and  $\lambda_2$  will reach the SLM 11 at different spatial regions. The spot size is in this case equal to

$\lambda f/\omega_0$  where  $f$  is the focal distance and  $\omega_0$  is the waist at the origin here of the input fiber 21b. Since the SLM 11 is a reflecting one, the transmitted light beam will be recombine by the same grating 23 acting now as a multiplexer and converged by the lens 22 toward an output fiber 21b which optical axis is parallel to the one of the input fiber 21a while symmetric with respect to the optical axis 25. The angular chromatism will be balanced during the back pas. It can be of advantage to use a single mode fiber with extended core for the output fiber. In such a way, the convergence conditions are not that high.

Fig. 7 represents an alternative of a dynamic spectral equalizer now in the imaging 4-f configuration. A single fiber 21 is used for the incident diverging light beam 26 as well as the converging transmitted light beam. Latter is merged with former due to the use of a single fiber 21. In this configuration two lenses 22a and 22b respectively with focal distance  $f_1$  and  $f_2$  are used and placed along the optical axis 25 on each side of the grating 23. The different wavelengths e.g.  $\lambda_1$  and  $\lambda_2$  will then reach the reflecting SLM 11 placed also along said optical axis 25 at different regions. After being reflected by it, the different wavelengths will be recombined by the same grating 23 and the two same lenses 22a and 22b before leaving the dynamic spectral equalizer through the same fiber 21.

On fig. 8 is represented a dynamic spectral equalizer also in the imaging configuration but now as folded 4-f. Similar to the case shown in fig. 7, a single fiber 21 is used both for the incident diverging light beam 26 as well as the converging transmitted light beam 27. But now a single lens 22 will be sufficient in combination of a reflecting grating 24 both placed along the optical axis 25. The reflecting SLM is now close to the fiber 21 with its plane still perpendicular to the optical axis 25. In such a way, the reflecting SLM 11 is facing the lens 22 in a same way as the diverging light beam 26 along slightly shifted with respect to the fiber 21. In comparison to the case before (fig. 7) a clear gain in compactness is achieved.

In both imaging configuration shown on fig. 7 and 8, the spot size will be equal to  $G\omega_0$  where  $G$  is an adjustable magnification factor equal to the

focal distance ratio. Typical values for all three configurations (fig. 6-8) for  $\Delta\lambda$  of about 0.8nm (distance between two different wavelengths at which optical signals in WDM are transmitted) are for the spot size about 10 $\mu$ m and focal distances of about 5cm.

The use of a SLM according to the present invention (a reflecting or not) requires a sufficient dispersive power to allow a good wavelength discrimination specially when the different wavelengths at which optical signals are transmitted in WDM technique are very close each other. Furthermore, a sufficient spot size must be ensured to take enough advantage of the scattering effect. And the incidence of the light beam on the used SLM must be normal (or almost normal) to its plane such to avoid any polarization dependence. All these conditions are perfectly guaranteed by the use of a dynamic spectral equalizer according to the present invention.

A telecommunications device according to the present invention incorporating such dynamic spectral equalizer will advantageously be used when transmission of telecommunications signals is managed in a WDM technique. The dynamic spectral equalizer will have to be inserted before e.g. an amplifier. Latter will then be able to work on the different wavelengths at which optical signals are sent in an optimized way.

#### 4. Brief Description of Drawings

Fig.1 a and b are schematic cross sectional views of a cell from a spatial light modulator according to the present invention.

Fig.2 a and b are schematic cross sectional views of a cell according to fig.1 with an alternative liquid crystal based substance.

Fig. 3 is a front view of an embodiment of an electrode of the cell according to the present invention.

Fig. 4 is a perspective view of an electric field distribution inside the cell when using an electrode according to figure 3.

Fig.5 is a cross sectional view of a cell from a spatial light modulator used in reflection mode according to the present invention.

Fig. 6 is a representation of the optical diagram of a dynamic spectral equalizer in a Fourier configuration according to the present invention.

Fig. 7 is a representation of the optical diagram of a dynamic spectral equalizer in an imaging configuration according to the present invention.

Fig. 8 is a representation of the optical diagram of a dynamic spectral equalizer in a folded imaging configuration according to the present invention.

(22)

Fig. 1 a

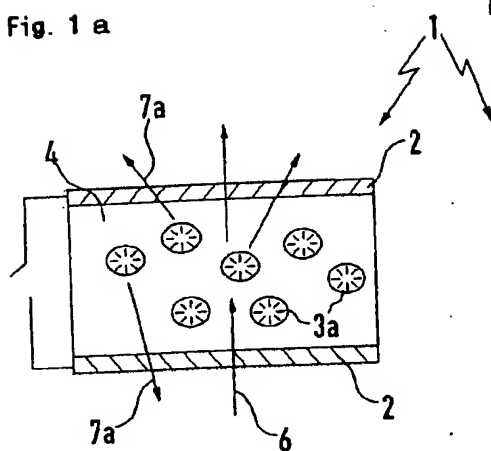


FIG. 1a

Fig. 1 b

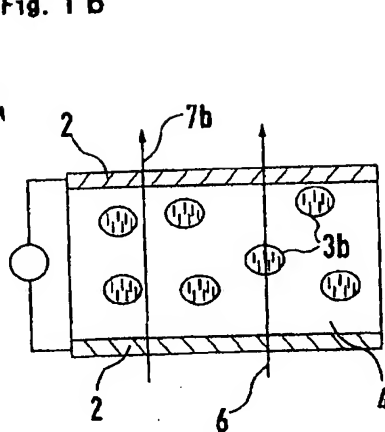


FIG. 1b

Fig. 2 a

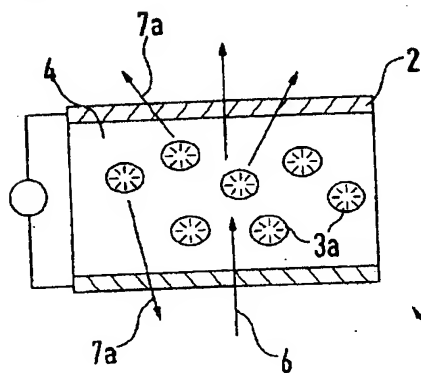


FIG. 2a

Fig. 2 b

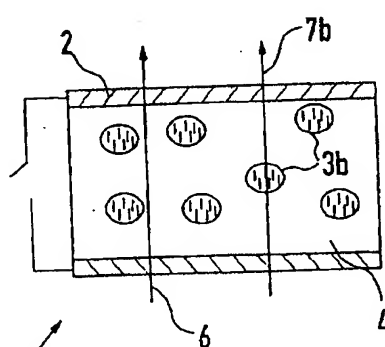


FIG. 2b

Fig. 3

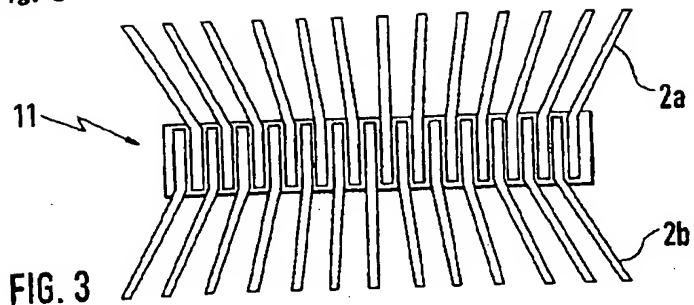
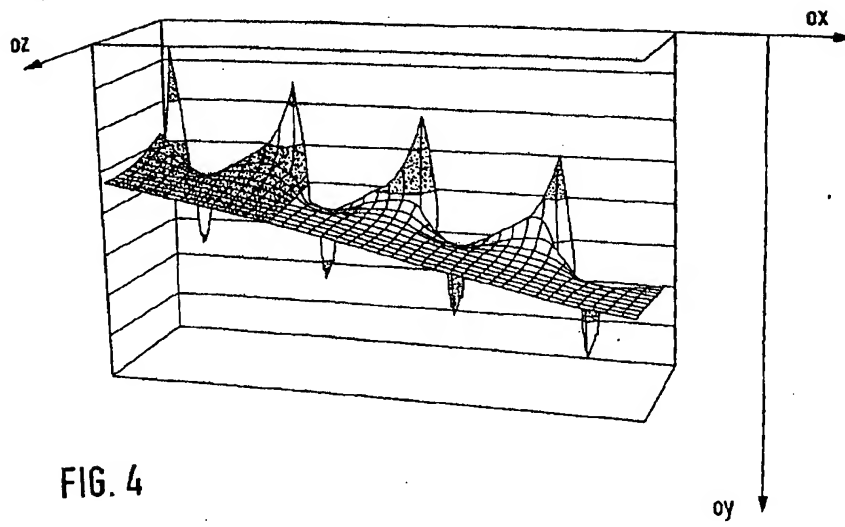


Fig. 4





**FIG. 5**



FIG. 6

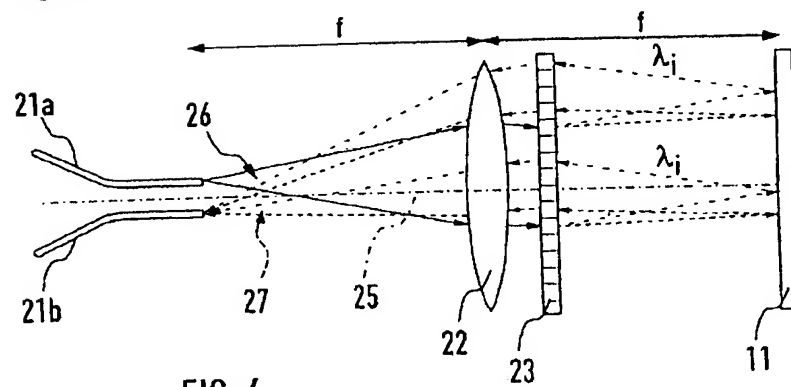


Fig. 7

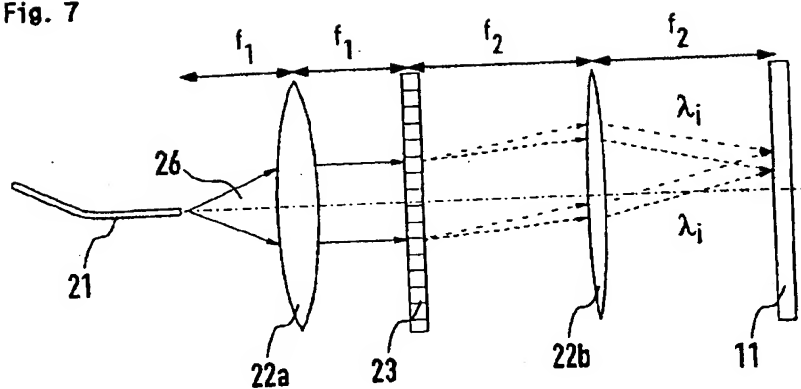


FIG. 7

Fig. 8

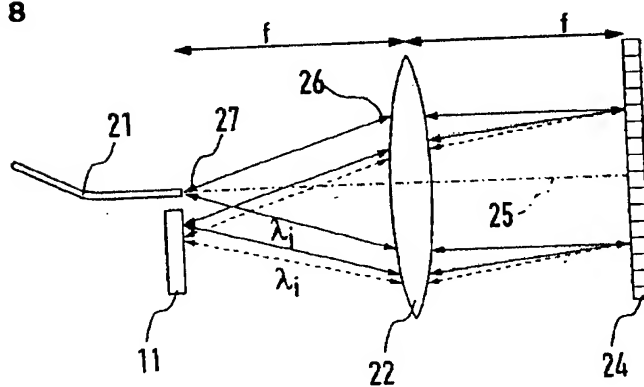


FIG. 8

## 1. Abstract

A spatial light modulator (SLM) is made up of a cell filled with a liquid crystal (LC) based substance. Latter has a variable scattering property with respect to an electric field present in the cell. By using a plurality of electrodes in the direct vicinity of said cell, it is then possible to build an electric field inside it which will permit advantageously to modulate a continuous spectrum from optical signals transmitted through said cell. The different pass bands present in said continuous spectrum while at least few of them comprise at least a respective different wavelength will have to be transmitted through said cell at different regions. Latter will correspond to different values of the amplitude of scattering such to be adapted to modulate the respective different pass bands. Such SLM is used to build a dynamic spectral equalizer. Latter contains a spectral dispersive element placed on an optical path of an incident light beam. This spectral dispersive element will spread continuously said incident light beam onto said SLM such that at least each different wavelength present in said incident light beam are focused or imaged towards a different spatial region of said SLM.

## 2. Representative Drawing

Fig. 4

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-214591

(P2002-214591A)

(43) 公開日 平成14年7月31日 (2002.7.31)

| (51) Int.Cl. <sup>7</sup> | 識別記号  | F I            | テーマコード (参考)     |
|---------------------------|-------|----------------|-----------------|
| G 0 2 F 1/1334            |       | G 0 2 F 1/1334 | 2 H 0 7 9       |
| 1/061                     | 5 0 3 | 1/061          | 5 0 3 2 H 0 8 8 |
|                           | 5 0 5 |                | 5 0 5 2 H 0 8 9 |
| 1/13                      | 5 0 5 | 1/13           | 5 0 5           |

審査請求 未請求 請求項の数15 O L 外国語出願 (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願2001-351134(P2001-351134)

(22) 出願日 平成13年11月16日 (2001.11.16)

(31) 優先権主張番号 0 0 4 4 0 2 9 9 . 6

(32) 優先日 平成12年11月20日 (2000.11.20)

(33) 優先権主張国 欧州特許庁 (E P)

(71) 出願人 391030332

アルカテル

フランス国、75008 パリ、リュ・ラ・ボ

エティ 54

(72) 発明者 ドミニク・ベヤール

フランス国、92140・クラマール、リュ・

デ・オーベバス、9

(72) 発明者 ジャン・ルイ・ドウ・ブグルネ・ドウ・

ラ・トクネ

フランス国、29290・サン・ルナン、トレ

ビスカン

(74) 代理人 100062007

弁理士 川口 義雄 (外5名)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 空間光変調器をベースとしたダイナミック空間イコライザ

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 液晶 LC ベースの物質で満たされたセルからなる空間光変調器 SLM を提供すること。

【解決手段】 液晶 LC ベースの物質は、セルの電場により変化する拡散特性を持ち、セル直近の複数の電極の使用により、光信号連続スペクトルの変調の可能な電場をセル内に構築出来る。連続スペクトルの通過帯域波長はそれぞれ異なり、異なる領域のセルを経た伝送が必要である。異なる領域は、異なる波長の通過帯域を変調するよう拡散振幅の値に対応する。SLM 11 は、ダイナミックスペクトルイコライザの構築に使用する。ダイナミックスペクトルイコライザは、入射光ビームの光パスに配置されるスペクトル分散エレメント 23 を含む。スペクトル分散エレメントは、入射光ビームの異なる波長が、SLM の異なる空間領域に向けて集束または投影されるよう、SLM に入射光ビームを連続的に散乱させる。

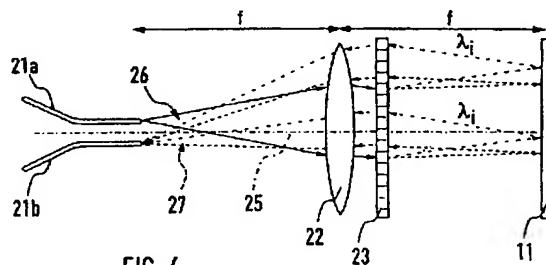


FIG. 6

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 電場に連動する可変拡散特性を有する液晶ベースの物質で満たされた平面セル、および前記液晶に電圧を加えるため平面のそれぞれの側から前記平面セルを囲む少なくとも 2 つの電極を備える空間光変調器であって、

前記加える電圧が空間で均一ではなく、光信号が前記セルを通して伝送される少なくとも 1 つの波長を備える、少なくとも 1 つの通過帯域を変調するように構成された前記平面に沿って可変空間分布を持つ前記セルの内部の電場を伴い、かつ前記変調が可変減衰の形態をとることを特徴とする空間光変調器。

【請求項 2】 前記可変空間分布が、光信号が前記平面にそったそれぞれ 2 つの異なる領域で前記セルを通して伝送されるそれぞれ少なくとも 1 つの波長を備える少なくとも 2 つの異なる通過帯域を変調するように構成されることを特徴とする請求項 1 に記載の空間光変調器。

【請求項 3】 前記平面の少なくとも片側で、前記電極がいくつかの異なる通過帯域を含む連続スペクトルを変調するように構成された前記可変空間分布を生じさせる複数の近接した電極に分割され、同時に通過帯域の少なくとも数個は、光信号がこれらそれぞれの異なる波長のそれぞれ用の前記平面にそった異なる領域で前記セルを通して伝送されるそれぞれ少なくとも 1 つの波長を備えることを特徴とする請求項 1 に記載の空間光変調器。

【請求項 4】 前記複数の近接した電極が、前記空間光変調器に前記入射光ビームの光特性の変動に適合することを可能にする可変電圧を用いて個別に制御されることを特徴とする請求項 3 に記載の空間光変調器。

【請求項 5】 前記変調器が、少なくともそれぞれの前記波長を備える前記通過帯域の平滑化または等価化によって可変減衰器として動作することを特徴とする請求項 2 から 4 に記載の空間光変調器。

【請求項 6】 入射光信号に対して前記セルの裏側にある前記電極が前記入射光信号のための反射平面を備えることを特徴とする請求項 1 に記載の空間光変調器。

【請求項 7】 前記セルを満たす前記液晶ベースの物質が、通常高分子の主媒体中で通常はネマチック構造、しかしキラル構造も可能な液晶粒子の浮遊物からなることを特徴とする請求項 1 に記載の空間光変調器。

【請求項 8】 前記粒子が、液晶の主軸が前記波長の伝搬軸に位置決めされていないとき、光信号は、前記粒子が散乱する動作をする前記セルを通して伝送される、前記波長に相当するまたはより小さい平均の大きさである請求項 2 から 7 に記載の空間光変調器。

【請求項 9】 少なくとも 1 つ波長を介して伝送される光信号を構成する入射光ビームのための光入力と結果の光ビームを収集するための光出力を備えるダイナミックスペクトルイコライザであって、

前記ダイナミックスペクトルイコライザが、前記入射光

ビームが集束または投影され、その前記結果の光ビームが収集される、請求項 1 に記載の空間光変調器をさらに備えることを特徴とするダイナミックスペクトルイコライザ。

【請求項 10】 ダイナミックスペクトルイコライザが、前記入射光ビームに存在する少なくともそれぞれ異なる波長が、前記空間光変調器の異なる空間領域に向け集束または投影するようスペクトル分散エレメントが前記空間光変調器上に前記入射光ビームを継続的に散乱させるような、前記スペクトル分散エレメントを前記入射光ビームの光パス上にさらに備える請求項 9 に記載のダイナミックスペクトルイコライザ。

【請求項 11】 前記空間光変調器に到達したとき、それぞれ異なる波長の伝搬の方向が、空間光変調器に対してほとんど垂直であり、後者がほとんど偏光に無依存であることを特徴とする請求項 10 に記載のダイナミックスペクトルイコライザ。

【請求項 12】 前記空間光変調器に到達したとき、それぞれ異なる波長の集束または投影は、前記空間光変調器がほとんど偏光に無依存であるよう、請求項 8 に記載の液晶粒子の平均の大きさよりも少なくとも数倍大きいスポットサイズを生じさせるように構成されることを特徴とする請求項 11 に記載のダイナミックスペクトルイコライザ。

【請求項 13】 前記空間光変調器は、前記入射光ビームが前記結果の光ビームとして収集される前に、2 回前記セルを通して伝送されるように反射モードで使用されることを特徴とする請求項 9 に記載のダイナミックスペクトルイコライザ。

【請求項 14】 前記光入力と出力が少なくとも光ファイバによって備えられることを特徴とする請求項 9 に記載のダイナミックスペクトルイコライザ。

【請求項 15】 請求項 9 に記載のダイナミックスペクトルイコライザを搭載することを特徴とする通信デバイス。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、請求項 1 のブリアンブルに記載の空間光変調器、請求項 9 のブリアンブルに記載のダイナミック空間イコライザ、および通信デバイスに関する。

## 【0002】

【従来の技術】光ファイバを採用する光通信システムは、非常に高速かつ大容量の情報を伝送できるので急速に設置されている。具体的には、大陸間伝送では、光ファイバは、すでに数 10 年にわたり海底ネットワークを敷設するのに使用されてきた。たとえばインターネットなどの通信需要が絶えず増大しているが、この経済分野の自由化のため通信に対する料金のダンピングが行われているので、コストをかけないで実質的に通信伝送の使

用見込みを増大させる必要が生じている。波長分割多重(WDM)と呼ばれる技術の使用は、すでに敷設された光ファイバで複数の異なる波長の光信号(同じ光ファイバで50以上)が伝送可能なのでたいへん有望視されている。今までどおり、ときどき(たとえば、いくつかのパラメータに応じて各100キロごと)それらの光信号用のトランスポンダなどのアンプを使用する必要がある。多くのアンプが多数の異なる波長用に、現在使用される必要がある。次いで、アンプが縦続接続され、受容可能なスペクトルの帯域幅の条件を強化する。

【0003】そのような状態を検証するために、スペクトルの等化を様々な伝送波長で行わなければならない。異なる数波長のみが使用されるとき、パッシブなスペクトル等化で十分である。US6084695は、選択性に乏しいファブリーペロー(Fabry-Perot)フィルタまたはフィゾーフィルタ(Fizeau)などのフィルタの使用に基づくパッシブなスペクトル等化の例を開示している。そのようなフィルタはマルチプレクサと組み合わせて使用され、一方、異なる波長は異なる入力ファイバを通して伝送される。次いで、これらの入力ファイバのそれぞれには終端平面上にその終端が位置している。マルチプレクサは、分散エレメントまたは格子、光平行エレメント、反射システムを備え、出力ファイバにより収集された出力ビームを生成する。反射システムは調整エレメントであり、この方向調整によって基本通過帯域で考えられる波長について発光ビームのセンタリングを可能にする。スペクトル等化は、ここで、これらの通過帯域が矩形に最も近くなるようにするために行われる。さらに、フィルタは、伝送スペクトルの周期がマルチプレクサの基本帯域の中心波長の周期に等しくなるよう、通過帯域のそれぞれに作用するように配置される。このフィルタは異なる波長の重畳領域に収容することができ、波長のそれぞれについて同じやり方で作用する。

【0004】しかし、波長分割多重化された光通信システムが商業的に採用され始めているので、スペクトル利得のアクティブな管理の必要性がますます重要になっている。実際のところ、少なくともそれぞれ異なる波長を含む個々のチャネルパワーは時間によって変動する。さらに、利得スペクトルも動的負荷とともに変動する。WO98/06192は、偏光無依存の回折強誘電性液晶(FLC: ferroelectric liquid crystal)インラインフィルタに基づく、スペクトル利得のアクティブな管理のための技術を開示している。これは、光入力と光出力間の光パスに沿って配列される再構成可能なホログラムフィルタからできている。等化は、ホログラムが伝搬されたビームを相応に再整形するようにここでは空間屈折に基づいている。ホログラムフィルタは、固定2進相の高空間周波数格子とともにダイナミックホログラムを表示するFLCピクセル

化空間光変調器(SLM)を備える。ホログラムフィルタの再構成は、いくつかの所定のホログラムにデータを格納する処理手段と組み合わせて達成される。後者は、所定の異なる波長のいくつかの光信号に対して信号パワー等化を行う。WO98/06192で開示されたアクティブ管理は、所定の波長に対して定義された所定のホログラムに限定される。少数またはすべての波長で偏移または変動が発生するとき、これを首尾よく適用することはできない。しかし、このことは、WDMで光信号を伝送するために同時に使用される実際に異なる波長の数の多さと共に、まさにますます重要になっている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、高分散能力を持ち、可変数の異なる波長からなる光信号に適用可能であり、同時にほとんど偏光と温度に無依存のダイナミック空間イコライザを提供することである。

【0006】

【課題を解決するための手段】本目的は、請求項1に記載の空間光変調器、請求項9および15にそれぞれ記載されているダイナミック空間イコライザおよび通信デバイスによって達成される。

【0007】これは、そのセルに存在する電場の振幅に応じて変る拡散特性を持つ液晶(LC: liquid crystal)ベースの物質で満たされたセルからなる空間光変調器(SLM)を利用する利点を持つ。Applied Optics、1998年Vol. 37、3181~3189ページに掲載されたK. Takizawa(滝沢國治)他による論文では、高分子分散型液晶(PDLC: polymer-dispersed liquid crystal)からなる偏光無依存光ファイバ変調器が開示されている。このPDLC物質は、高分子内で分散した直径数マイクロメートル以内のLC粒子を有する。LC粒子とまわりの高分子の屈折率の違いを制御することによって、PDLCの状態を不透過から透過状態に継続的に変化させることができる。電場がこの変調器に加えられないとき、LC分子はそれぞれの粒子に対して様々な方向に向いている。前記変調器を通して送信される光ビームは強力に拡散される。このことは、実質的に伝搬する光のパワーを減少させ、変調器をオフ状態にする。適切に大きな電場をPDLCに加えると、LC分子は電場の方向に整列する。次いで、高分子とLC粒子の両方は、ほとんど同じ屈折率を示す。この場合、前記変調器を通して伝搬される光ビームは拡散せずに直進する。そのような変調器はPDLCの光拡散効果に基づいているので、これは、偏光に依存することなく光ビームを変調するために使用することができる。

【0008】本発明では、つぎに似たようなLCベースの物質で満たされたセルに加えられるのは均一ではない電場である。そのようなやり方で次いで、前記物質の可変拡散特性(損失)の利点を利用して可変減衰器を構築

する。次いで、後者は、光信号が前記セルを通して伝送される少なくとも1つの波長を含む通過帯域の伝送損失を、たとえば、前記通過帯域を平滑化または等価化することによって整形するように構成される。前記セルの直近の複数の電極を使用することによって、セルの内側に電場を構築することが可能になり、有利に前記セルを通して伝送される光信号からの連続スペクトルを変調することが可能になる。その場合、前記連続スペクトルには様々な通過帯域が存在し、少なくともその数個は少なくともそれぞれ異なる波長を含んでおり、それらは異なる領域の前記セルを通して伝送される必要がある。後者は、異なる拡散振幅値に対応し、様々な波長の通過帯域を変調するよう構成される。

【0009】そのようなSLMは、本発明によるダイナミックスペクトルイコライザを構築するために好んで使用される。後者は、入射光ビームの光パスに配置されるスペクトル分散エレメントを含む。このスペクトル分散エレメントは、前記入射光ビームに存在する少なくともそれぞれ異なる波長が、前記SLMの異なる空間領域に向けて集束または投影されるように、前記SLMに前記入射光ビームを継続的に散乱させることが有利である。前記SLMのセルに加える電場は複数の電極により個別に制御することができるので、リアルタイムで連続スペクトルの変調を光ビームに存在する数個の新しい波長のいくつかを偏移または降下または増加に適合させることが可能になる。

【0010】本発明のさらに有利な特徴は従属請求項で定義しており、以下の説明と図面から明らかになるであろう。

【0011】つぎに本発明の一実施形態を添付図面とともにより詳細に説明する。

【0012】

【発明の実施の形態】本発明による空間光変調器(SLM)は液晶(LC)ベースの物質で満たされたセルからできている。後者は、セルに存在する電場に連動して変化する拡散特性を有する。図1、2、および4で示しているように、前記LCベースの物質は、有利に平面として作られた前記セル1に閉じ込められた主媒体4(通常は高分子)のLC粒子3、3a、3b(通常はネマチック構造、しかしキラル構造も可能)から構成されている。電極2は近傍に配置されている。後者はセル1の内側の前記電場を生じる均一ではない電圧を加えるために使用する。

【0013】粒子内のLCの主軸は粒子の境界での高分子とLCの相互作用で決まる。正の誘電体異方向性に対し、LCの主軸は、図1a(オフフィールド状態)で示しているように電場が全く加わっていない場合、粒子から粒子3aまでほとんどランダムに変動している。LC粒子3aと主媒体4間の指標のミスマッチ(不連続性)によって入射光6は拡散する。セルの厚さ(たとえば、

10マイクロメートル)が粒子の大きさ(0.5~1マイクロメートル)よりかなり厚いとき、そのとき入射光6はセル1から7aが放出される前に、何回も散乱することになる。散乱の程度は、粒子の大きさ、複屈折(たとえば、0.1以下)および密度に左右される。加える電圧(図1b参照)とともにLC粒子の屈折率と周りの高分子(主な媒体4)の屈折率間の違いを制御することによって、高分子分散型LC(PDLC)の状態を不透過から透過に連続的に変動させることができる。後者の場合、入射光6は散乱することなく7bに伝送される。したがって、偏光板を使用することなく、前記セルを通して光からの非拡散光線7bを選択することによって光を変調することが可能である。

【0014】図2aおよび2bでは、つぎにこれまでと同様の空間光変調器のセル1であるが、負の誘電体異方向性を持つネマチック構造のLCを使用し、同時にその全体がホモエトロピック(homoetropic)構成であるものを示している。この場合、LC粒子3bの主軸は、オフ状態、すなわち電場がない状態(図2b)の光ビームの伝搬軸に対して平行に位置合わせされている。少しでも電圧が加わると、セル1は多かれ少なかれ不透過になる(図2a)。

【0015】加える電圧がスペースで均一ではないような特定の電極2を選択するとき、前記セル1内部の電場は平面にそって可変空間分布状態となる。次いでこれは、光信号が前記セル1を通して伝送される少なくとも1つの波長を備える少なくとも1つの通過帯域を変調するように構成されている。変調はセルが前記通過帯域の平滑化または等価化によって可変減衰器として動作するように選択されることが好ましい。

【0016】本発明の主要な目標は単一のステップで、光信号が単一のSLMを使用して伝送(WDM技術)される少なくとも1つの異なるそれぞれの波長をそれぞれ備える多数の様々な通過帯域を変調することなので、図3の正面図で示しているように、次いで少なくとも1つの電極2が複数の平行した電極2a、2bに分割される。これらの電極2a、2bのそれぞれが個別に制御される場合、そのときPDLCに、連続スペクトルを変調するように構成された可変空間分布状態を適用することは可能である。後者は多数の様々な通過帯域を含むことができるが、一方それらの少なくとも数個は、光信号が前記セル1を通して伝送される少なくとも1つのそれぞれの波長を備えている。変調される異なる波長を備えるそれぞれの通過帯域がセル1を通して、平面にそった異なる対応領域で伝送されることは重要である。

【0017】図4では、セル1の内部の電場の分布の例を視覚化している。oxは変調および分散軸であり、すなわち複数の電極2a、2bはoyに平行である。そしてozは、そのようなセル1を通して伝送される光ビームの伝搬軸である。この図4で示しているように、電

場のそのような分布は、いくつかの異なる通過帯域からなる連続スペクトルを変調するように構成される。

【0018】入射光ビームに存在する様々な波長を前記SLMの様々な領域に散乱させることを保証することが本発明の中で本質的なものである。そのため、そのような種類のSLMを使用するダイナミックスペクトルイコライザは、さらに入射光の光パス上に配置されるスペクトル分散エレメントを備えることになる。自由空間のこの分散エレメントは、プリズム、ボリュームホログラム、格子、またはこれらの組合せとすることができる。これらによって、空間多重に変換される（波長 $\lambda$ に応じて水平移動）角分散が可能になる。前記SLMに到達するとき、それぞれ異なる波長の伝搬の方向が前記SLMに対してほとんど垂直であることを保証することも利点がある。そのやり方で、使用されるSLMはほとんど偏光無依存となる。さらに、前記SLM上のそれぞれ異なる波長の収束または投影が、セル1を満たすLC粒子の平均の大きさより少なくとも数倍大きいスポットサイズが生じるように構成されるのは好ましい。これらすべての状態で、入射光ビームの変調を最適化することが可能である（適合理化することにより入射光ビームの変調を最適化することが可能になる（伝送損失の適合理化））。

【0019】そのようなダイナミックスペクトルイコライザの大きさと、特にコストを最適化するために、平面反射SLM11を使用する。図5では、そのような平面反射SLM11の一実施形態の横断面図を示している。SLM11は、平行に並んで配置されている2つの平面ガラス基板10からできている。この間に2つの電極2、8があり、一方この間にPDL9が閉じ込められている。そのような平面反射SLM11を使用するとき、入射光ビーム6は最初に透過性の第1の電極2を通して入射することになる。有利には、後者はイリジウムスズ酸化物（ITO: Indium Tin Oxide）で構成することができる。その後、入射光ビーム6はPDL9によって変調され、その後ミラーからなる第2の電極8によって反射され再びPDL9を通る。すなわち、前記平面反射SLM11によって反射される入射光ビームはPDL9を2回通って伝送されることになる。

【0020】本発明による平面反射SLM11の使用は、ダイナミックスペクトルイコライザのために必要とされる光エレメントの数を節約する点で利点があり、すなわち小型に最適化することが可能である。図6から8では、そのようなダイナミックスペクトルイコライザの様々な可能な実施形態を示している。これらすべては、格子23、24のほか同様の反射SLM11を備えているが、入射光ビームの光軸25にそって異なる領域に配置されている。格子23は、反射光ビームに対してはマルチプレクサとして動作するデマルチプレクサ（WDM mux）からなる。効率性のため、厚い格子またはボ

リュームホログラムが好ましい可能性がある。加えて、そのような格子のBragg選択性は、付随するPDL Cの後方散乱を阻止するために使用することができる。

【0021】図6は、フーリエ構成のダイナミックスペクトルイコライザを表している。発散する入射光ビーム26が入力ファイバ21aから到来し、前記光ビーム26の伝搬方向に平行な光軸25に配置されたレンズ22に到達する。その後これは、ここではWDM muxである格子23を通して伝送され、その後前記SLM11に到達する。レンズ22および格子23のために、2つの異なる波長 $\lambda_1$  および  $\lambda_2$  は異なる空間領域のSLM11に到達する。この場合、このスポットサイズは $\lambda f / \omega_0$  に等しく、ここで $f$ は焦点距離であり、 $\omega_0$ はここでは入力ファイバ21bの始まりでのウェストである。SLM11は反射SLMなので、伝送される光ビームは今度はマルチプレクサとして動作する同じ格子23によって再結集され、光軸が入力ファイバ21aの1つと平行であり、同時に光軸25に対して対称な出力ファイバ21bの方向へレンズ22によって集束することになる。角色彩は戻りパスの間はバランスが取られることになる。出力ファイバ用には拡張コアのある単一モードのファイバを使用することが有利でありうる。このようなやり方では、集束状態はあまり強くない。

【0022】図7は、つぎに投影4-f構成のダイナミックスペクトルイコライザの代替形態を示している。単一ファイバ21が、入射発散光ビーム26のほか伝送された光ビームを集束するためにも使用されている。後者は、単一ファイバ21を使用しているため前者と合体している。この構成では、焦点距離がそれぞれ $f_1$  および  $f_2$  の2つのレンズ22a および 22b が使用され、格子23のそれぞれの側の光軸25にそって配置されている。次いで、たとえば $\lambda_1$  および  $\lambda_2$  などの異なる波長は、前記光軸25にそって異なる領域に配置された反射SLM11に到達する。SLM11で反射の後、異なる波長は再び同じ格子23ならびに2つの同じレンズ22a および 22b によって再結集され、その後同じファイバ21を通してダイナミックスペクトルイコライザを出て行く。

【0023】図8は、つぎに折り重ねられた投影4-f構成のダイナミックスペクトルイコライザも表している。図7で示している場合と類似して、単一のファイバ21が、入射発散光ビーム26のほか伝送された光ビーム27を集束するための両方に使用されている。しかしつぎに、単一にレンズ22が、両方とも光軸25にそって配置された反射格子24との組合せには十分である。つぎに反射SLMはファイバ21に近く、なお光軸25に対して垂直な平面を持っている。そのようなやり方で、反射SLM11は、ファイバ21に対して少し変位しており発散光ビーム26にそって同じようにレンズ22と相対している。前の場合（図7）と比較すると、小



型という点で明らかな利点を達成している。

【0024】図7および8で示した両方の投影構成では、スポットサイズは $G\omega_0$ と等しく、ここで $G$ は焦点距離の比率と等しい調整可能な倍率計数である。およそ0.8ナノメートル(WDMの光信号が伝送される2つの異なる波長間の差)の $\Delta\lambda$ に対する3つすべての構成(図6~8)用の一般的な値は、スポットサイズがおおよそ10マイクロメートルであり、焦点距離がおおよそ5センチメートルである。

【0025】本発明によるSLM(反射またはそうでなくても)の使用は、十分な波長の区別を可能にするため、特に光信号がWDM技術で伝送される異なる波長が互いに近接しているときは、十分な分散能を必要とする。さらに、十分なスポットサイズが保証されれば、拡散効果を十分に利用できる。使用されるSLM上への光ビームの入射は、あらゆる偏光依存を回避するために平面に対して垂直(ほとんど垂直)でなければならない。これらのすべての状態は、本発明によるダイナミックスペクトルイコライザの使用によって完全に保証される。

【0026】このようなダイナミックスペクトルイコライザを搭載する本発明による通信デバイスは、通信信号の伝送がWDM技術によって管理されるときに有利に使用される。ダイナミックスペクトルイコライザは、たとえばアンプの前段に挿入する必要がある。次いで、後者は光信号が最適化したやり方で伝送される異なる波長で動作可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1a】本発明による空間光変調器のセルの横断面の図である。

【図1b】本発明による空間光変調器のセルの横断面の図である。

【図2a】代替液晶をベースとする物質を用いた図1によるセルの横断面の図である。

【図2b】代替液晶をベースとする物質を用いた図1によるセルの横断面の図である。

\*

\*【図3】本発明によるセルの電極の一実施形態の正面図である。

【図4】図3による電極使用時のセル内部の電場分布の透視図である。

【図5】本発明による反射モードで使用した空間光変調器のセルの横断面の図である。

【図6】本発明によるフーリエ構成のダイナミックスペクトルイコライザの光の流れを示す図である。

【図7】本発明による投影構成のダイナミックスペクトルイコライザの光の流れを示す図である。

【図8】本発明による折り重ね投影構成のダイナミックスペクトルイコライザの光の流れを示す図である。

【符号の説明】

- 1 セル
- 2、2a、2b、8 電極
- 3、3a、3b LC粒子
- 4 主媒体
- 6 入射光ビーム
- 9 高分子分散型液晶(PDLC)
- 10 平面ガラス基板
- 11 平面反射SLM(空間光変調器)
- ox 変調および分散軸
- oz 伝搬軸
- f 焦点距離
- $\lambda_i$ 、 $\lambda_j$  波長
- 21 ファイバ
- 21a 入力ファイバ
- 21b 出力ファイバ
- 22、22a、22b レンズ
- 23 格子
- 24 反射格子
- 25 光軸
- 26 発散光ビーム
- 27 伝送された光ビーム

【図1a】

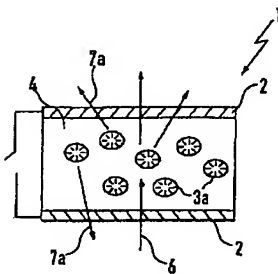


FIG. 1a

【図1b】

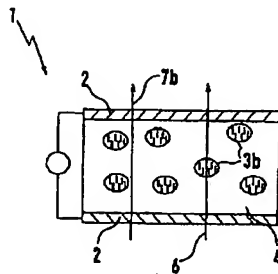


FIG. 1b

【図2a】

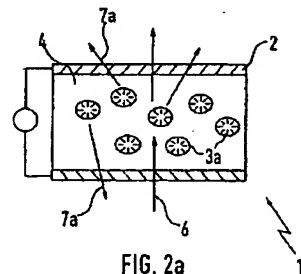


FIG. 2a

【図2b】

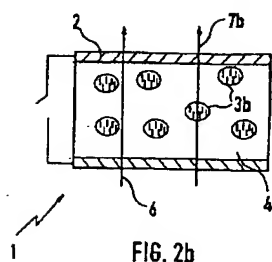


FIG. 2b

【図3】

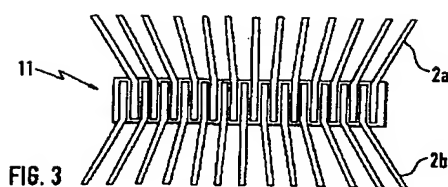


FIG. 3

【図5】

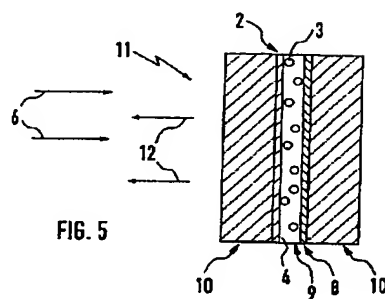


FIG. 5

【図4】

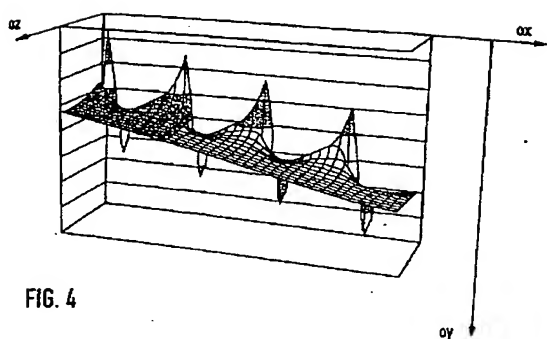


FIG. 4

【図6】

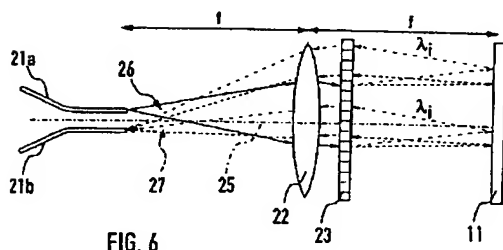


FIG. 6

【図7】

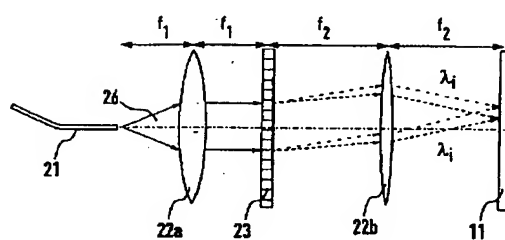


FIG. 7

【図8】

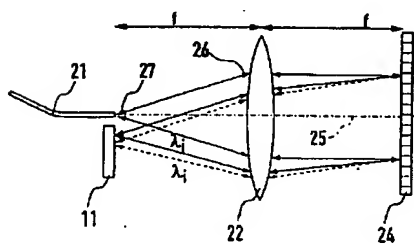


FIG. 8

## フロントページの続き

(72)発明者 レーモン・シユバリエ  
フランス国、29217・ブルゴンブラン、リ  
ユ・ドウ・ケルザビ、15  
(72)発明者 ロラン・デュボン  
フランス国、29280・ブルザネ、ル・デレ  
ツク

Fターム(参考) 2H079 AA02 BA01 CA02 CA04 CA07  
CA24 DA08 EA13 EB15 KA08  
2H088 EA44 EA48 HA24 HA28 HA30  
MA06  
2H089 HA04 QA12